(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 1
2025

UO‘K: 669.332.3 10.70769/3030-3214.SRT.3.1.2025.13

MIS SANOATI SHLAKLARINI QAYTA ISHLASHDA ZAMONAVIY TADQIQOTLAR SHARHI (TAHLIL)

Turdiyeva Aziza Yoqub qizi

Toshkent davlat texnika universiteti “Materialshunoslik” mutaxassisligi magistranti, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: turdiyevaaziza34@gmail.com
ORCID ID: 0009-0006-6045-8082

Norxudjayev Fayzulla Ramazonovich

Texnika fanlari doktori, professor, Toshkent davlat texnika universiteti “Materialshunoslik” kafedrasi mudiri, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: norxojaev.fayzulla@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-5513-1521

Annotatsiya. *Hozirgi sanoatlashgan dunyo talablaridan kelib chiqqan holda bugungi kunda juda ko‘plab metallurgik zavodlar ikkilamchi xom-ashyoni qayta ishlashni yo‘lga qo‘ygan. Bunga sabab qilib ruda zahirasi kamligi va metallurgik korxonalardan chiqqan chiqindilar ekologik falokatni keltirib chiqarishi ko‘rsatilishi mumkin. Yer osti zahiralaridan oqilona foydalanish va uni tejashning eng samarali usuli bu kon-metallurgiya sanoati chiqindilaridan foydalanishni jadallashtirish hisoblanadi. “Olmaliq KMK” AJ – O‘zbekiston Respublikasining eng yirik sanoat korxonalaridan biri bo‘lib, unda sanoat jarayonlaridan yiliga jami 500 ming tonna mis shlaklari hosil bo‘ladi. Odatda mis shlaklarida tahminan 32-37% gacha temir mavjud va 0,5-1,5% misdan iborat, bu uning qayta ishlash uchun qimmatli ikkilamchi manba ekanligini ko‘rsatadi. Shunday qilib, mis shlaklaridan oqilona foydalanish hamda ekologik xavotir kuchayib borayotganligi sababli, xavfli materiallar sifatida tavsiflangan mis shlaklaridan har tomonlama foydalanish uchun tegishli texnologiyani ishlab chiqish bugungi kun uchun juda dolzarbdir.*
Kalit so‘zlar: *shlak, kremniy, mis, temir, rux, flyus, shteyn, oltingugurt, uglerod, flotatsiya, konsentrat, pirit, xalkopirit, xalkozin, arsenopirit, mishyak, pirometallurgiya, boyitish, kislota.*

ОБЗОР (АНАЛИЗ) СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ШЛАКОВ МЕДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Турдиева Азиза Ёкуб кизи

Магистрант по специальности «Материаловедение» Ташкентского государственного технического университета, Ташкент, Узбекистан

Норхуджаев Файзулла Рамазонович

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение» Ташкентского государственного технического университета, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. *Исходя из требований современного индустриального мира, сегодня многие металлургические заводы наладили переработку вторичного сырья. Это может быть связано с низкими запасами руды и экологической катастрофой, вызванной отходами металлургических предприятий. Наиболее эффективным способом рационального использования и экономии подземных ресурсов является интенсификация использования отходов горно-металлургической промышленности. АО «Алмалыкский ГМК» - одно из крупнейших промышленных предприятий Республики Узбекистан, где в результате промышленных процессов ежегодно образуется в общей сложности 500 тысяч тонн медных шлаков. Обычно медные шлаки содержат около 32-37% железа и 0,5-1,5% меди, что указывает на то, что он является ценным вторичным источником для переработки. Таким образом, в связи с рациональным использованием медных*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 1
2025

шлаков и растущей экологической обеспокоенностью, разработка соответствующей технологии всестороннего использования медных шлаков, которые классифицируются как опасные материалы, очень актуальна на сегодняшний день.
Ключевые слова: *шлак, кремний, медь, железо, цинк, флюс, штейн, сера, уголь, флотация, концентрат, пирит, халькопирит, халькозин, арсенопирит, мышьяк, пирометаллургия, обогащение, кислота.*

REVIEW OF MODERN RESEARCH ON THE PROCESSING OF COPPER INDUSTRY SLAGS (ANALYSIS)

Turdieva Aziza Yokub kizi
Master's student in Materials Science at Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

Norkhujaev Fayzulla Ramazonovich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of "Materials Science" of Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *Based on the requirements of today's industrialized world, many metallurgical plants have established the processing of secondary raw materials. This can be attributed to low ore reserves and the environmental disaster caused by waste from metallurgical enterprises. The most effective way to rationally use and conserve underground reserves is to intensify the use of mining and metallurgical industry waste. JSC "Almalyk MMC" is one of the largest industrial enterprises of the Republic of Uzbekistan, where a total of 500 thousand tons of copper slags are formed annually from industrial processes. Usually, copper slags contain approximately 32-37% iron and 0.5-1.5% copper, which indicates that it is a valuable secondary source for processing. Thus, due to the rational use of copper slags and growing environmental concern, the development of appropriate technology for the comprehensive use of copper slags, characterized as hazardous materials, is very relevant today.*
Keywords: *slag, silicon, copper, iron, zinc, flux, matte, sulfur, carbon, flotation, concentrate, pyrite, chalcopyrite, chalcocite, arsenopyrite, arsenic, pyrometallurgy, enrichment, acid.*

Kirish. OKMK AJ ning mis eritish zavodida mis kontsentratlarini uzoq muddatli qayta ishlash natijasida 7 million tonnadan ortiq chiqindi shlaklari to‘plangan. Hozirgi vaqtda eski shlakning bir qismi OKMK 2-Mis boyitish fabrikasida flotatsiya usuli bilan qayta ishlanib, mis, oltin va kumush olinmoqda. Shlaklarni qayta ishlash texnologiyasining hozirgi holatini tahlil qilish shuni ko‘rsatadiki, Cu, Fe, Ag va Au kabi barcha qimmatli tarkibiy qismlarni ajratib olish texnologiyasi bilan birga yangi turdagi qotishmalar, jumladan, sement o‘rnini bosuvchi kompozit materiallar tayyorlash imkoniyati mavjudligi ma’lum.

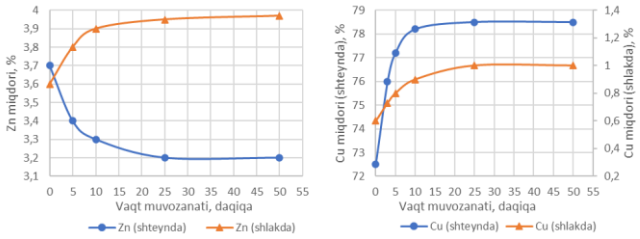
Shlak to‘planishi katta maydonlarning band qilinishi hamda atrofdagi suv va tuproqning zararlanishi tufayli ekologik muammolarni keltirib chiqaradi. Muammoga ilmiy yondashuv mis shlaki miqdorini kamaytirish va uni foydali mahsulotlarga qayta ishlashni o‘z ichiga olgan texnologiyalardan foydalanishni ifodalaydi. Cu-Fe-S-Si-O-(Zn) sistemasida rux va boshqa elementlarning shlak, shteyn va metall fazalari orasida taqsimlanishi 1200°C (1473 K) haroratda aniqlangan. Metall faza suyuq mis yoki qattiq metall temirdan iborat bo‘lgan. Metall faza bilan muvozanat sharoitlari mis shlakini tozalash va qayta ishlash uchun suyuqlanmani kamaytirish texnologiyalarini ishlab chiqish uchun amaliy ahamiyatga ega.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Mis asosan mis-temir-oltingugurt minerallaridan, [1] jumladan xalkopirit ($CuFeS_2$) va bornit (Cu_5FeS_4), shuningdek xalkozin (Cu_2S) va enargit (Cu_3AsS_4) dan olinadi. Ular odatda sof holda uchramaydi, balki bir-biri bilan va turli xil aralashmalar ayniqsa pirit (FeS) bilan birgalikda mavjud bo‘ladi. Mis rudalarida silikat birikmalarining miqdori 95% dan kam bo‘lmaganligi sababli, xomashyo maydalanadi va flotatsiyaga yuboriladi, natijada mis konsentrati va chiqindi hosil bo‘ladi, so‘ng eritish zavodiga yuboriladi. Eritishning maqsadi misning yo‘qotilishini minimallashtirgani holda, iloji boricha ko‘proq keraksiz temir, oltingugurt va iqtisodiy qiymatga ega bo‘lmagan minerallarini yo‘qotishdir. Bunga quyidagilar orqali erishiladi: (I) temirni

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 1
2025

ushlab qoladigan alohida fayalit ($2FeO·SiO_2$) fazasini hosil qilish uchun tegishli miqdordagi kremniy dioksidi (SiO_2) ni qo‘shish va (II) yuqori haroratda oltingugurtni oltingugurt dioksidi sifatida chiqarib tashlash uchun kislorod qo‘shish orqali oltingugurt trioksidi (SO_3) suv bilan reaksiyaga kiritilib, H_2SO_4 ishlab chiqarish uchun ishlatiladi. Shu sababli, ko‘plab mis eritish zavodlari chiqindi gazlardan foydalanadigan kislota ishlab chiqarish korxonalari bilan birlashtirilgan (Biswas va Davenport, 2013). Biroq, har bir tonna mis ishlab chiqarilganda, taxminan ikki tonna temir-silikat shlaki hosil bo‘ladi (Byung-Su Kim et al., 2013). Ular tarkibida qimmatli komponentlar, jumladan FeO (35-49%), SiO_2 (28-40%), CaO (1-10%), MgO (1-3%), Al_2O_3 (2-15%), Cu (taxminan 1%), shuningdek 1% dan kam miqdorda Mn, Ni, Zn, Co mavjud bo‘lishiga qaramay chiqindi sifatida uyumlarga yuboriladi. Manbada mis shlakini qayta ishlashning texnologik sxemasi taklif etilmoqda: (I) mis shlakini 800°C dan yuqori haroratda 2 soat davomida havo yordamida oksidlash; (II) oksidlangan shlakka natriy gidroksid eritmasi (140 g/l) bilan 190°C da 3 soat davomida gidrotermik ishlov berish; (III) qattiq moddani suyuq fazada yuqori haroratda filtrlash orqali ajratish; (IV) pH ni o‘zgartirish yo‘li bilan suyuq silikat fazasini gidroliz qilish orqali gel hosil qilish; (V) amorf SiO_2 ni (kremniy dioksidi geli) 80°C da qotirish yo‘li bilan olish. Kremniyni ajratib olish uchun shlakka ishlov berish jarayonlari aniqlanib, optimallashtirildi. Oksidlovchi gazdagi kislorod parsial bosimining ortishi oksidlanish mexanizmini o‘zgartirmasligi va oksidlanish jarayonini sezilarli darajada kuchaytirmasligi aniqlandi. Gidrotermik ishlov berish jarayonida SiO_2 ni ajratib olishda NaOH konsentratsiyasi hal qiluvchi omil bo‘ldi. Uning 60 dan 140 g/l gacha oshirilishi qoldiq SiO_2 miqdorini ikki barobardan ko‘proq kamaytirdi va qattiq fazada seolit minerali ($NaAlSi_2O_6·H_2O$) hosil bo‘lishini sezilarli darajada pasaytirdi.

Rux mis sulfidli ma’danlar uchun umumiy element bo‘lib, mineral sfalerit, ZnS sifatida, shuningdek, murakkab ma’danlarda bir qator boshqa sulfidli va oksidli minerallarning qattiq eritmalarida mavjud [2]. Natijada misni birlamchi eritish uchun asosiy xomashyo bo‘lgan ko‘plab mis sulfid konsentratlarida rux uchraydi. Mis va rux, shuningdek, Cu-Zn qotishmalarini qayta ishlashda hosil bo‘lgan shlaklar va shteynlar kabi ikkilamchi materiallarda, sanoat chiqindilarida va ishlab chiqarish muddati tugagan mahsulotlarda hosil bo‘ladi. Misni birlamchi eritish yoki konvertatsiya qilishda rux potentsial ravishda gaz, suyuq shlak, qattiq oksidlar (masalan, spinel, sinkit yoki villemit), shteyn va metall fazalari orasida tarqalishi mumkin. Yallig‘ qaytaruvchi pechida, Noranda reaktorida, Outokumpu eritish pechida, va IsaSmelt yoy pechida mis eritishning sanoat sharoitlari uchun shlak va shlakdagi rux konsentratsiyasi o‘lchandi (1-rasm).



1-rasm. Shlak va shteyn fazalarining o‘lchangan kompozitsiyalariga muvozanatlash vaqtining ta’siri.

Shlak, shteyn va metall muvozanatining past R (SO_2) sharoitlarini o‘rganishning yana bir sababi mis ishlab chiqaruvchi korxonalarning shlakni tozalash jarayonlariga sarmoya kiritishga bo‘lgan qiziqishining ortishidir. Asosiy harakatlantiruvchi kuch mis shlaklarini qayta ishlash va ulardan qurilish materiallari sifatida foydalanish salohiyati bo‘lib, bu zararli aralashmalarni olib tashlashni talab qiladi, ya’ni. Pb, As va Zn. Cu va boshqa qimmatbaho metallarni qo‘shimcha ravishda ajratib olish Ni, Co ni shlakni tozalashda ham olish mumkin.

Kalsiy mishyak shlaki (KMS) mis (Cu), qo‘rg‘oshin (Pb) va rux (Zn) kabi rangli metallarni ishlab chiqarish metallurgiya jarayonida hosil bo‘ladigan ikkilamchi mahsulotdir [3]. KMS tarkibida kalsiy arseniti ajralib chiqishi va inson salomatligiga potensial xavf tug‘dirishi mumkin. Shu sababli, KMSni xavfsiz va samarali utilizatsiya qilish hamda boshqarish usullarini joriy etish muhim ahamiyatga ega.

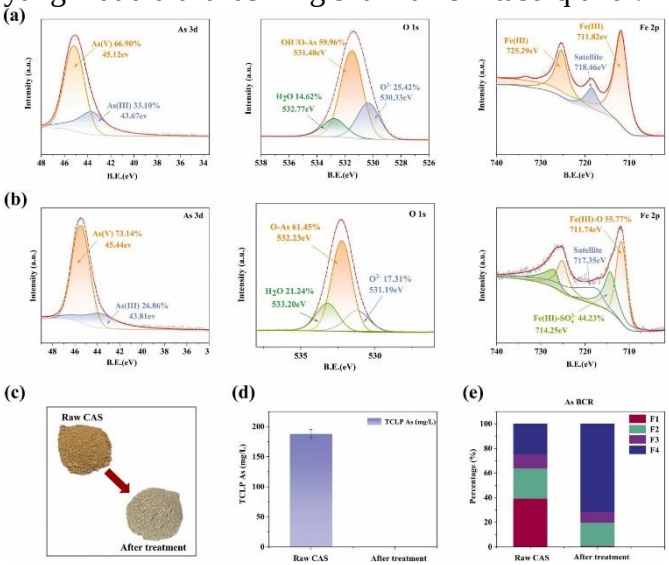
Tarkibida mishyak bo‘lgan qattiq chiqindilarni an’anaviy barqarorlashtirish usullariga asosan jarayoni mishyakni immobilizatsiya qilish va ajralib chiqishini oldini olish uchun bir nechta mexanizmlarni o‘z ichiga oladi: kimyoviy fik-

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 1
2025

satsiya, kapsulalash va qotirish. Kimyoviy fiksatsiya shlak va qo‘shimchalar o‘rtasidagi reaksiyalar natijasida sodir bo‘lib, kalsiy arsenatlari kabi yangi birikmalarni hosil qiladi. Kapsulalash jarayoni shlakni bog‘lovchi material ichida fizik jihatdan izolyatsiyalashni o‘z ichiga olib, mishyak ajralib chiqishiga to‘sqinlik qiladi. Qotirish esa shlakni qattiq holatga aylantiradi va mishyak harakatchanligini kamaytiradi Ushbu mexanizmlar birgalikda mishyakni saqlashni yaxshilaydi va ekologik xavflarni minimallashtiradi. Biroq, barqarorlashtirish jarayoni sezilarli miqdorda barqarorlashtiruvchi moddalarni talab qiladi, bu esa hajm, og‘irlik va pH miqdoriga ta’sir qiladi, ya’ni kislota miqdori oshadi. Bundan tashqari, yuqori ishqoriylik esa kalsiy saqlovchi moddalarning samaradorligini cheklaydi.

Materiallar va uslublar. Tadqiqotda kalsiy arsenit silikatidagi mishyakni barqarorlashtirish uchun mis shlakidan foydalanishni va bug‘latish hamda kristallanish jarayonlari orqali kalsiy arsenit silikatida mishyakning mineral fazasini qayta tiklashni taklif etadi. Bu usul nafaqat chiqindini foydali mahsulotga aylantiradi, uni iqtisodiy va ekologik jihatdan samarali qiladi, balki mishyakning kimyoviy barqarorligini oshiradi va shu orqali uning atrof-muhitga sizib chiqishini kamaytiradi. Mis shlakidagi temir ionlari va silikatlar barqaror mineral fazalarni hosil qilish orqali mishyakni barqarorlashtirishda muhim rol o‘ynaydi. Bundan tashqari, silikatlar yangi hosil bo‘lgan temir arsenat minerallari bilan birikib, kalsiy arsenit silikatida mishyakning barqarorligini yanada oshiradi va uning tarqalishini cheklaydi. Qolaversa, bu yondashuv an’anaviy barqarorlashtirish usullariga nisbatan chiqindilarning umumiy hajmini kamaytiradi, mishyakni uzoq muddat samarali saqlash imkonini beradi.

Kalsiy arsenit silikati va ishlov berilgandan keyingi qoldiqning XPS spektrlari 2a va b-rasmlarda ko‘rsatilgan. XPS spektri (2a-rasm) Kalsiy arsenit silikat namunasida mishyakning asosiy shakli 45,12 eV bog‘lanish energiyasiga ega bo‘lgan mishyak (V) ekanligini ko‘rsatdi. Bu 66,90% ni tashkil etib, kalsiy arsenit silikatda amorf $Ca_3(AsO_4)_2$ mavjudligini tasdiqlaydi. XPS spektri (b-rasm) ishlov berilgandan so‘ng mishyak(III) ning 6,24% I As (V) ga (45,44 eV) aylanganligini ko‘rsatdi. Bu mishyaknini immobilizatsiya qilish uchun foydali bo‘ldi mishyakni As (V) ning bog‘lanish energiyasi 45,12 eV dan 45,44 eV ga siljidi, bu As va boshqa elementlar o‘rtasida yangi koordinatsion munosabatlar shakllanganligini anglatadi. XRD, infraqizil va Raman tahlillari asosida yangi kaatialayt fazasining hosil bo‘lganligi tasdiqlandi. RTT, infraqizil va Raman tahlillari asosida yangi katialait fazasining shakllanishi tasdiqlandi.



2-rasm. Kalsiy arsenit silikati va ishlov berilgandan keyingi qoldiqning XPS spektrlari.

XPS spektrlari: (a) Kalsiy arsenit silikat oldingi; (b) ishlov berilgandan so‘ng qoldiq uchun; (c) Kalsiy arsenit silikat ishlov berilgandan so‘ng qoldiqning optik tasviri; (d) va ishlov berilgandan so‘ng qoldiqning TCLP bo‘yicha umumiy As konsentratsiyalari; (e) Kalsiy arsenit silikat va ishlov berilgandan so‘nggi qoldiqdagi mishyak As ning morfologik taqsimoti (F1: oson eriydigan fraksiyalar; F2: qaytariluvchi fraksiya; F3: oksidlanuvchi fraksiya; F4: qoldiq fraksiya).

Qattiq chiqindilarni utilizatsiya qilish – bu barqaror rivojlanishni ta’minlash uchun turli sanoatlardan chiqadigan chiqindilardan foydalanishni ham o‘z ichiga oladi. Mis shlaki [4] misni eritish va tozalash jarayonida hosil bo‘ladi. Bu chiqindi materiallar abraziv chiqindilar bo‘lib, turli sanoatlardan chiqadigan chiqindilardan foydalanish barqaror rivojlanishni ta’minlashda fuqarolik va atrof-muhit muhandislarining oldida turgan asosiy muammolardan biridir. Shu bilan birga, bu mavjud materiallar xarajatlarini hisobga olish bilan bog‘liq. Chiqindi mis shlaki abraziv asboblar, yo‘l qurilishi va og‘ir materiallar sifatida ishlatilishi mumkin. Mis

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 1
2025

shlakining qayta ishlanishi ortib borayotgan bo‘lsada, uning yillik ishlab chiqarilishi hali ham katta hajmdagi chiqindilar sifatida yig‘ilib, saqlanmoqda. Mis shlakini qayta ishlashda eng katta imkoniyatlardan biri sement va beton ishlab chiqarishda foydalanishdir. Ko‘plab tadqiqotchilar mis shlakini sement, ohak kukuni, chang, sement o‘rnini bosuvchi materiallar sifatida, shuningdek, qattiq va yumshoq agregatlarning qisman o‘rnini bosuvchi sifatida beton va sement ishlab chiqarishda ishlatishni o‘rgandilar. Mis shlakining sement va betonda ishlatilishi barcha tegishli sanoatlar uchun, ayniqsa mis shlaki ko‘p ishlab chiqariladigan hududlarda atrof-muhit va iqtisodiy foyda keltirishi mumkin. Ushbu maqola mis shlakining qo‘llanilish sohalarini va uning turli faoliyatlarda ruxsat etilgan foydalanilishini ko‘rib chiqadi.

Mis ishlab chiqarish jarayonida [5] og‘ir metallar tutgan katta miqdordagi mis shlaki hosil bo‘ladi va uning tarkibidagi 0,5 - 8,0% og‘irlikdagi mis yo‘qoladi, bu esa qayta ishlanishga arziydi. Ushbu tadqiqotda mis shlakini tozalash uchun chiqindi koks va gips qo‘llanildi, yo‘qotilgan mis qaytarilib, oltingugurtlanib, shteyn tomchilari boyitilgan. Biroq, oddiy tortishish kuchi sharoitida shteyn tomchilarining erkin cho‘kishi uchun 1350°C yuqori harorat talab etiladi. Shu asosda, tozalangan shlakdan shteyn tomchilari 1200°C past haroratda 3 daqiqa ichida o‘ta yuqori tortishish kuchi yordamida samarali ajratib olindi. Bunda misni qayta tiklash darajasi 99,56 foizgacha yetdi, shteyn fazasida va tozalangan shlakdagi mis miqdori mos ravishda 85,84 va 0,08 foiz og‘irlikni tashkil etdi. Bundan tashqari, og‘ir metall elementlari (Pb, Zn, Ni va boshqalar) ko‘chishi, taqsimlanishi va tanlab eritmaga o‘tish xususiyatlari o‘rganildi va tahlil qilindi, shuningdek, uchuvchan moddalar va qoldiqlarni qayta ishlash hamda ulardan foydalanish masalalari muhokama qilingan. Tadqiqotda mis shlakini tozalash va bir vaqtning o‘zida mis resurslarini qaytarish-oltingugurtlash eritish va past haroratda o‘ta yuqori tortishish kuchi yordamida ajratish orqali qayta tiklashning ekologik toza usuli taklif etiladi. Bu esa issiq mis shlakini chiqindi koks va gips bilan birgalikda qayta ishlash uchun ilmiy yechim taqdim etadi.

Mis-shlakni ajratish samaradorligiga harorat, oksidlanish sharoiti, xomashyo sifati, shlak tarkibi va xususiyatlari har tomonlama ta’sir qiladi, bu esa shlakda katta miqdorda mis yo‘qotilishiga olib keladi. Mis kimyoviy erish va mexanik tortilish orqali oksidlovchi muhitda metall mis sulfidi, oksid yoki silikat shaklida shlak tarkibida qoladi, natijada shlakdagi mis miqdori ba’zan mis rudasi tarkibidan yuqori bo‘ladi. Qisqacha aytganda, past sifatli xomashyoda mis yo‘qotilishining asosiy manbai mexanik yo‘l bilan yutilgan metall mis yoki xomashyo bo‘lsa, 70% dan yuqori mis tarkibli xomashyo uchun kimyoviy yo‘qotishlar asosiy sababdir. Mis xomashyosining odatdagi sifati 45-65% mis ekanligini hisobga olsak, shlakdagi mis yo‘qotilishi asosan mexanik qoplanish natijasida sodir bo‘ladi, chunki mis shlakida muqarrar ravishda ortiqcha Fe_3O_4 (magnetit) hosil bo‘lishi tufayli shlakning erish harorati va qovushqoqligi oshadi. Co, Ni, Pb, Zn, Au, Ag kabi ba’zi qimmatbaho elementlar va Bi, Sb, Hg, As kabi boshqa zararli elementlar ham silikat asosidagi matritsa fazasida joylashgan bo‘lib, aynan shu sababli mis shlaki sanoat qattiq chiqindisi sifatida qadrlanadi. So‘nggi yillarda sanoatdagi mis shlakini drenajlash va elektr shlak-tozalash pechiga o‘tkazilgandan so‘ng tozalash uchun pirometallurgik usullar qo‘llaniladi, bunda shlakning qovushqoqligini kamaytirish va mis fazasining cho‘kishini osonlashtirish uchun ba’zi tiklovchi va flyus elementlari qo‘shiladi.

Chiqindi mis shlaki turli [6] qimmatbaho elementlarni o‘z ichiga olgan tipik xavfli qattiq chiqindi hisoblanib, hozirgacha samarali utilizatsiya qilinmagan. Ushbu tadqiqotda chiqindi mis shlakidan qimmatbaho elementlarni (mis, temir, qo‘rg‘oshin va rux) ajratib olish uchun bosqichma-bosqich ekstraksiya jarayoni taklif etilgan. Aniq bosqichlar quyidagicha: 1) Misni boyitish uchun flotatsiya jarayoni qo‘llanilgan va flotatsion konsentratdagi mis miqdori 21,50% bo‘lganda, misning ajratib olish darajasi 77,78% ni tashkil etgan. 2) Flotatsiya chiqindilari ohaktosh bilan granulalangan, so‘ngra yashil granulalar qaytarilgan va magnit separatsiya jarayoni o‘tkazilgan. Magnit konsentratdagi temir va mis miqdori 90,21% Fe va 0,4% Cu bo‘lganda, mos ravishda 91,34% temir va 83,41% mis ajratib olingan. 3) Nomagnit chiqindilar oddiy portlandsement olish uchun klinker va standart qum bilan aralashtirilgan. Taklif etilgan jarayon orqali chiqindi mis shlakidan bir nechta mahsulotlar olingan: 21,50% Cu tarkibli konsentrat;

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 1
2025

90,21%, 65,17% ZnO va 2,66% PbO tarkinli to‘g‘ridan-to‘g‘ri qaytarish changi hamda qurilish uchun oddiy portlandsement. Chiqindi mis shlakini kompleks utilizatsiya qilish usuli chiqindisiz ishlab chiqarishga erishadi va amaliy qo‘llash uchun katta salohiyatga ega.

Muhokama va natijalar. Eritish orqali qaytarish chuqur qaytarish jarayoni hisoblanadi; bu jarayon davomida FeO 1450°C dan yuqori haroratda qaytaruvchi modda yordamida cho‘yan temirgacha qaytariladi Bu usul temirning yuqori darajada tiklanishiga erishish imkonini beradi, ammo pechning xizmat muddatini qisqartiradi. Mis shlakidan temirni to‘g‘ridan-to‘g‘ri qaytarish va magnitli ajratish orqali olish samarali usul hisoblanadi. MShni 1200-1300°C haroratda qaytarish orqali fayalit va mis sulfidini metall temir va misga aylantirish, so‘ngra Fe-Cu qotishma fazasini hosil qilish mumkin. Keyinchalik Fe-Cu qotishmasini ajratib olish uchun magnitli separatsiya jarayoni qo‘llaniladi. Biroq, magnitli ajratish chiqindilari samarali ishlatilmagan.

Tadqiqot ishida xom ashyo sifatida suyuq mis shlakidan foydalanib, to‘g‘ridan-to‘g‘ri qaytarish jarayonida mis, temir, qo‘rg‘oshin va rux kabi qimmatbaho komponentlarning boyitilishi va ko‘chish qonuniyatlari o‘rganilgan. Maqbul sharoitlarda (1500°C harorat, 1,06 ishqoriylik, 60 daqiqa eritish vaqti va mexanik aralashtirish) mis shlakidagi mis, temir, qo‘rg‘oshin va ruxning ajralib chiqish darajasi tegishlicha 98,83%, 99,59%, 97,45% va 98,51% ni tashkil etgan.

Xulosa. Tahlil qilingan tadqiqot ishlari shuni ko‘rsatadiki, mis sanoati qattiq chiqindilarini qayta ishlash texnologiyalari eng avvalo “yashil” sanoat talablari, atrof-muhit muhofazasi, resurslardan samarali foydalanishni ta’minlaydi. Bunda, chiqindisiz sanoat eng muhim faktor bo‘lib, bugungi kunda ushbu talablarga javob beradigan kon-metallurgiya sanoati bir qancha rivojlangan mamlakatlarda yo‘lga qo‘yilgan. Sanoatga “yashil” talablarning qo‘yilishi ko‘p hollarda iqtisodiy jihatdan samarasiz deb qaraladi. Biroq ko‘pyillik ilg‘or tajribalardan ko‘rinib turibdiki, avvaliga iqtisodiy samarasiz bo‘lsada ekologik jihatdan muhim deb hisoblangan texnologiyalar, hozirda mamlakat taraqqiyoti uchun har tomonlama foydalidir.

Qayta ishlanayotgan kon rudalarining xususiyatlari, hudud talablaridan kelib chiqib, mis sanoati shlaklarini qayta ishlashning eng samarali usuli ishlab chiqilishi maqsadga muvofiq. Shundan kelib chiqib, dunyoda olib borilgan tadqiqotlar, shuningdek, Olmaliq kon-metallurgiya kombinati aksiyadorlik jamiyatining mis sanoati shlaklarining tarkibi, xususiyatlaridan kelib chiqib, ularni qayta ishlash, ulardan qimmatbaho komponentlarni maksimal ajratib olishning maqbul texnologiyasini ilmiy tadqiqotlar natijasida ishlab chiqish mumkin bo‘ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Gyurov, S., Marinkov, N., Kostova, Y., Rabadjieva, D., Kovacheva, D., Tzvetkova, C., Penkov, I. (2017). Technological scheme for copper slag processing. International Journal of Mineral Processing, 158, 1–7. doi:10.1016/j.minpro.2016.11.008
2. Svetlana Sineva, Denis Shishin, Maksym Shevchenko, Peter C. Hayes, Evgueni Jak. Experimental study and thermodynamic modeling of distribution of elements among slag, matte and metal in the Cu–Fe–O–S–Si–(Zn)–(Al, Ca, Mg) system for copper slag cleaning applications, Journal of Materials Research and Technology, Volume 23,2023, Pages 5280-5300, ISSN 2238-7854, https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.02.120.
3. Lanbin Wang, Wenjie Xie, Yangming Xu, Wenqi Zhang, Yan Sun, Yu Chen, Ruan Chi, Yaguang Du. Enhancing arsenic immobilization in calcium arsenate slag through mineral phase reconstruction using copper slag via acid evaporation // Process Safety and Environmental Protection. Volume 193, 2025, Pages 421-431, https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.11.053.
4. Murari, K., Siddique, R., & Jain, K. K. (2014). Use of waste copper slag, a sustainable material. Journal of Material Cycles and Waste Management, 17(1), 13–26. doi:10.1007/s10163-014-0254-x